

多層盛溶接における数値シミュレーション

山根 敏、梅田 亘

埼玉大学 理工学研究科 環境制御工学専攻

目的：12mm 厚の厚板の高効率多層盛溶接を行うために、スイッチバック溶接法を提案する。これは、トーチを左右に振りながら、その中心を前進・後退させて溶接を行う方法である。この溶接法には多数のパラメータが存在するため、熱伝導方程式に基づく数値モデルを構築し、その数値シミュレーションを行い、その結果から最適な溶接条件の決定を行った。

方法：溶接条件決定のために熱伝導方程式に基づく数値モデルを構築した。母材は長さ 175mm、幅 100mm であり、その形状を Fig .1 に示す。メッシュのサイズは 5mm とした。溶融金属は 5 メッシュごとに溶着すると仮定した。ギャップが 4mm の場合、トーチ中心は 20mm 前進し、15mm 後退する。後退ストロークが 15mm の場合、ビードは 7 層となる。

溶接における発生熱量はアーク電圧と電流の積にほぼ等しいが、そのうちの半分がワイヤ溶融に要した熱量とし、残りは母材への入熱と空気中への放熱と近似した。従って、入熱に関する熱容量を表す直方体の体積は母材への入熱 $0.5 \text{ V I} / 2$ に等しい。ここで、 η は効率 (0.7)、アーク電圧 V は 22.4V 一定、電流は実験により求めた。

温度 U に関する熱伝導方程式は

$$\rho c \frac{\partial U}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

である。ここで、 κ 、 ρ および c はそれぞれ母材の熱伝導率、密度および比熱である。

入熱領域の境界条件は以下ようになる。

$$-\kappa \frac{\partial U}{\partial z} \Big|_{\text{surface of bead in heat input area}} = q \quad (2)$$

$$-\kappa \frac{\partial U}{\partial y} \Big|_{\text{surface of groove in heat input area}} = q \quad (3)$$

入熱領域を除いた表面は空気中への熱拡散とした。この境界条件は以下ようになる。

$$-\kappa \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{\text{Groove surface}} = h(U - 20), \quad -\kappa \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=100} = h(U - 20) \quad (4)$$

$$-\kappa \frac{\partial U}{\partial y} \Big|_{\text{Groove surface}} = h(U - 20), \quad -\kappa \frac{\partial U}{\partial y} \Big|_{y=175} = h(U - 20) \quad (5)$$

$$-\kappa \frac{\partial U}{\partial z} \Big|_{z=0} = h(U - 20), \quad -\kappa \frac{\partial U}{\partial z} \Big|_{z=12} = h(U - 20) \quad (6)$$

この h は熱放射係数であり、外気温を 20 とした。

熱の伝導性は母材の相状態 (固体、液体) に依存する。本研究では母材として鉄を用いているため、熱伝導率 κ を 1534 から 1536 の温度領域で変化させる。熱伝導率関数 $\kappa(U)$ は線形区分を持つ連続関数とする。母材の温度に従って母材の状態は固相と液相となる。そこで、潜熱を

扱うためにエンタルピー法を適用する。

ここでは差分法により数値解析を行う。中心差分を用いた差分方程式は以下のようになる。

$$\frac{H_{i,j,k,l+1} - H_{i,j,k,l}}{\Delta t} = \kappa \frac{U_{i+1,j,k,l} - U_{i,j,k,l}}{\Delta h^2} + \kappa \frac{U_{i-1,j,k,l} - U_{i,j,k,l}}{\Delta h^2} + \kappa \frac{U_{i,j+1,k,l} - U_{i,j,k,l}}{\Delta h^2} + \kappa \frac{U_{i,j-1,k,l} - U_{i,j,k,l}}{\Delta h^2} + \kappa \frac{U_{i,j,k+1,l} - U_{i,j,k,l}}{\Delta h^2} + \kappa \frac{U_{i,j,k-1,l} - U_{i,j,k,l}}{\Delta h^2}$$

(8)

$H_{i,j,k,l}$ は格子点 i, j, k , 時間 l でのエンタルピーであり、 $U_{i,j,k,l}$ は格子点 i, j, k , 時間 l での温度である。 h は格子間隔で、 t は時間メッシュである。温度 $U_{i,j,k,l+1}$ は Fig.4 に示すようにエンタルピーから温度への変換を用いて計算する。式(8)および(2) ~ (6)を用いた。

結果：ギャップ 4,5,6mm、前進 15,20,25mm に対するシミュレーション結果を Fig.2 に示す。この結果に示されている溶融池の形状から、最適な溶接条件の決定を行った。

結論：スイッチバック溶接法における最適な溶接条件の決定のために、数値モデルを誘導し、その数値シミュレーションを行った。この結果から最適な溶接条件を求めた。その有効性を溶接実験により確認した。

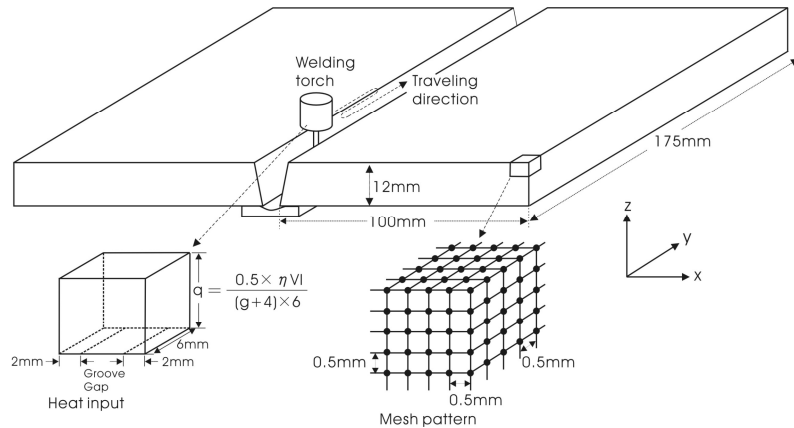


Fig.1 Grid and mesh pattern in the calculation of weld pool

Gap[mm]	Forward-Backward Stroke: 20-15mm	Forward-Backward Stroke: 25-20mm	Forward-Backward Stroke: 30-25mm
4			
5			
6			

Fig.2 Weld pool shape in 4,5 and 6 mm gap.